

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860052

研究課題名（和文）光アナログ・デジタル変換器に用いる光標本化器の高速高分解能化に関する研究

研究課題名（英文）High speed and high resolution optical sampler for optical analog-to-digital converter.

研究代表者

三好 悠司 (MIYOSHI YUJI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00582389

研究成果の概要（和文）：

光標本化方式による動作特性の差について比較を行い、四光波混合(FWM)を用いる方式は高時間分解能化、非線形光ループミラー(NOLM)を用いる方式は低電力化に有利であることを明らかとなった。光量子化器と符号化器の光入出力特性を解析し、ADCの有効ビット数を4.08bit改善することが可能であることを明らかにした。光標本化器と量子化・符号化器を接続した実験を行い、高分解能化動作の原理確認を行い、提案方式による高分解能化を実証した。ただし、符号化処理を行う際には雑音の影響により性能が著しく低下する課題が残されており、符号化方法の改善については今後の課題である。

研究成果の概要（英文）：

We compared two optical sampling schemes based on four wave mixing (FWM) and nonlinear optical loop mirror. The scheme based on FWM is suitable for high time resolution operation. Another scheme based on NOLM is suitable for low power consumption. Then, we investigate the performance of proposed ADC scheme about effective resolution. The transfer functions have a potential to increase by ENOB (Effective number of bit) of 4.08 bit. Finally, we have demonstrated real-time optically resolution enhanced ADC system using optical transfer functions of NOLMs. The coarse power level of low resolution ADC has been interpolated by the resolution enhancement scheme. However, the decoded signal has been degraded by noises in NOLMs. This problem will be improved by taking into the noises for setting the coding table.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：超高速信号処理、光スイッチ、光エレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

増大し続ける情報量をより効率的に伝送・処理できる新たな光通信技術の構築のため高速高分解能の光アナログ-デジタル(A/D)変換器の実現が求められている。量子化、光符

号化の3つの技術によって構成され、これまでに申請者は光 A/D 変換器を実現するために高分解能の光 A/D 変換器に必要な光量子化・符号化方法についての研究を行い、高分解能の光量子化・符号化を実現可能であるこ

とを明らかにした。光標本化方法については様々な方法が既に提案されているが、方式による特性の違いは明らかとなっておらず、どのような標本化方法が A/D 変換器に適しているかについては明らかになっていない。

2. 研究の目的

光 A/D 変換器は図 1 のように光標本化、光量子化本研究では、高速高分解能の光 A/D 変換に適した光標本化方法とその設計方法を明らかにし、高速高分解能の光 A/D 変換技術を実現につなげることを目的とする。

3. 研究の方法

高速高分解能光 A/D 変換を行う為に適した光標本化方法を選択するため、まずは既存の標本化方法についての比較検討を行う。具体的には光ファイバ中での光信号の振舞を記述した非線形シュレーディンガー方程式を用いた理論検討と数値シミュレーションにより、標本化に用いるレーザー光源の雑音の影響を解析する。次に、その比較検討結果を基にして後段に接続する量子化器・符号化器やさらに後段の電子回路への接続性を考慮した高速高分解能光 A/D 変換に適した光標本化器を設計する。

標本化器と光量子化器・符号化器とを接続した場合の光 A/D 変換器全体の特性に関する評価を行う。評価方法に関しては既存の A/D 変換器の評価に用いられる指標を用いて、デジタル信号処理等のアプリケーションの要求条件を満たすことができるか詳細に検討する。

4. 研究成果

1) 光サンプリング方法による特性差に関する検討結果

図 1 に示すような NOLM を用いた時間ゲートによる光サンプリング方法と FWM による波長変換を用いた光サンプリング方法について、それぞれのファイバ長に対するサンプリングパルスの電力と時間分解能について数値シミュレーションにより解析を行った。検討に用いたファイバと光源のパラメータを表 1 に、電力と時間分解能の計算結果を図 2、3 に示す。図 2、3 より FWM による光サンプリング方法でファイバ長 100m 以下を短くすることで、1ps 程度の高時間分解能を実現可能であるがサンプリングパルスには 1.5W を超える高電力が必要である。一方 NOLM を用いた方法では FWM の結果に対し、ファイバ長に対する時間分解能の低下が少なく、ファイバ長を 300m 以下にすることでサンプリングパルスの電力を 1W 以下にすることが可能である。このことから分解能を高めるためには FWM による方法が適しているが、必要電力を下げるためには NOLM が適しており、必要な

特性に対するサンプリング方法の選択の指針が明らかとなった。今後はより詳細な動作特性についても検討を進める予定である。これらの成果については学会発表 3 件(学会発表 3, 5, 8)を行っている。

表 1 高非線形ファイバと光源パラメータ

損失 [dB/km]	分散スロープ [ps/km_nm ²]	非線形係数 [1/(W·km)]	
0.5	0.03	10	
信号光		サンプリングパルス	
波長 [nm]	電力 [W]	パルス幅 [ps]	波長 [nm]
1550	0.001	1.0	1520

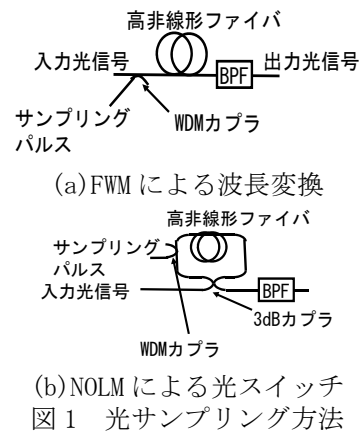


図 1 光サンプリング方法

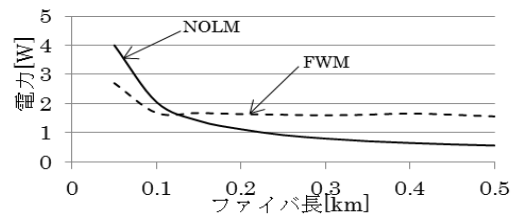


図 2 ファイバ長とサンプリングパルスの電力

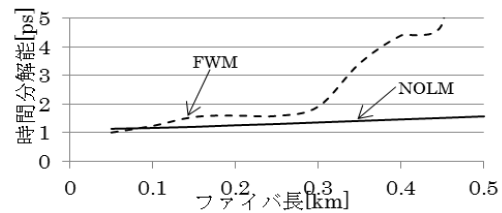


図 3 ファイバ長と時間分解能の関係

2) 光量子化・符号化器の動作特性についての解析結果

光標本化後の光信号を入力する光量子化、符号化器の特性について原理検討を行い、実験により測定した量子化・符号化器の光入出力特性から期待される分解能向上効果及び組み合わせる AD 変換器のビット数によって得

られるAD変換器の総合性能を明らかにした。図4に雑音の影響を無視した場合の光入出力特性の傾きの平均値や理想入出力特性からの自乗平均 (RMS)誤差を用いてAD変換器の有効ビット数 ENOB の評価を行った結果を示す。図4より、どちらの評価方を用いても組み合わせるAD変換器の分解能に依存せず、4.08 bitの分解能向上効果を期待できることが明らかとなった。そして5 bitの分解能を持つAD変換器を用い、出力ビット数を8 bitと設定したときのENOBは7.86 bitを得ることができることを明らかにした。ENOBの出力ビット数からの低下は0.14ビットと十分小さく光通信の受信機や測定機において応用するうえでも問題ない性能といえる。これらの成果については学会発表4件(学会発表2, 4, 6, 7)および、学術論文誌に1件掲載を行った。

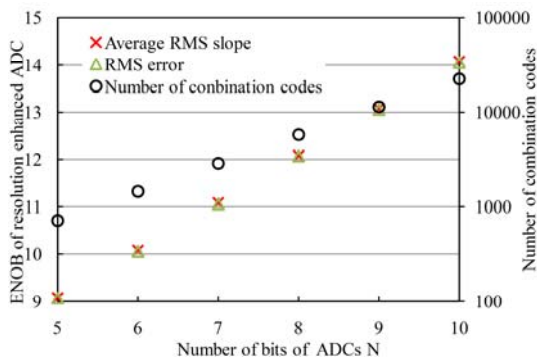


図4 組み合わせるAD変換器のビット数Nと実行分解能の関係

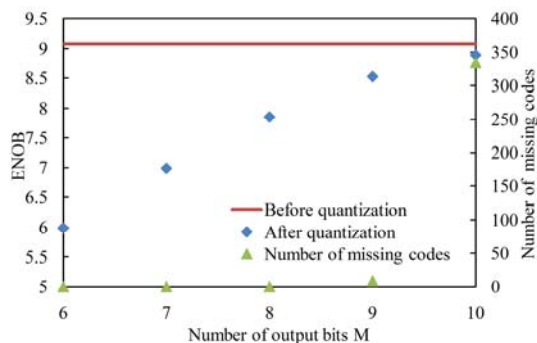


図5 分解能5bitのAD変換器を用いた場合の出力ビット数Mに対するENOBの変化。

3) 光標本化・光量子化・符号化器接続時の特性評価試験

実際に変調を行った光信号を光標本化器と光量子化・符号化器の接続を行い、測定を行い元信号と測定した信号の比較を行うことによりA/D変換器としての動作の確認を行った。200MHzの正弦波を光変調器に入力し変調した光信号を標本化し、量子化、符号化によ

って元の波形に復元した時間波形を図6に等価時間サンプリング波形を図7に示す。図7のa, b, cはそれぞれ標本化された光信号、aの信号を5-bitAD変換器によって量子化した信号、量子化・符号化器によって復元した信号波形である。図6や図7の復元された波形から、5-bitに量子化されていた信号レベルが補間され、10bitの出力信号を得ることができている。しかし、正弦波で変調した信号を受信しているにもかかわらず、スパイク状の誤差を含む信号が観測されている。これは復号化を行う際の変換表が雑音の影響を考慮したものになっておらず、出力結果に大きな誤差を与えていることが原因と考えられる。今後は雑音の含まれた信号に対してその影響を最小化するための復号化方法を検討し変換品質の向上を行う。この成果については国際会議17th Opto Electronics and Communications Conference (OECC2012)にて採択され発表(学会発表1)を行う予定である。

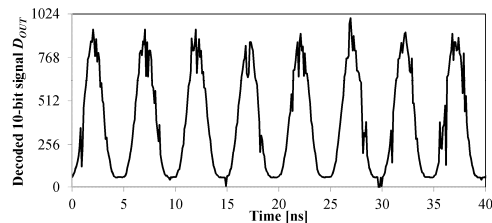


図6 復号化された時間波形

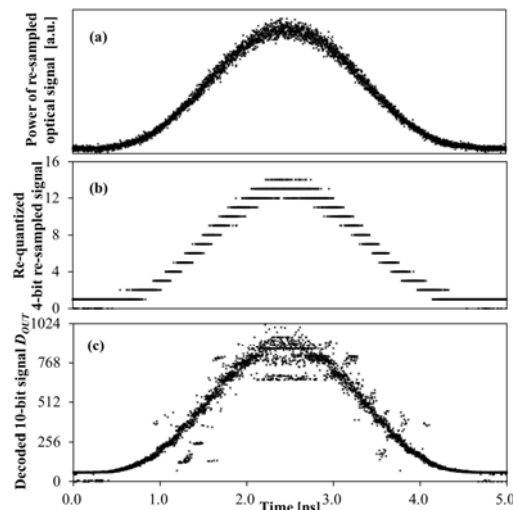


図7 等価時間サンプリング波形

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- (1) 三好悠司、並木周、北山研一、Performance evaluation of resolution-enhanced ADC using optical multi-period transfer functions of

NOLMs、査読有、招待論文、vol. 18、2012年3月、pp. 779-784.

〔学会発表〕(計8件)

- (1) Y. Miyoshi、S. Namiki、K. Kitayama、M. Ohashi、” Real-time Demonstration of optically resolution-enhanced ADC system using NOLMs、” In Proc. of 17th Opto Electronics and Communications Conference (OECC2012)、5C3-4、2012年7月5日、プサン、韓国.
- (2) 三好悠司、並木周、北山研一、大橋正治、” 光ファイバの非線形光学効果を用いた光A/D変換技術、” 輻射科学研究会3月例会、RS11-16、2012年3月26日、堺市.
- (3) 渡辺真也、三好悠司、大橋正治、” 非線形光学効果を用いた光サンプラーの時間分解能に関する検討、” 電子情報通信学会 関西支部学生会 第17回学生研究講演会、B1-6、2012年3月9日、草津市、
- (4) Y. Miyoshi、S. Namiki、K. Kitayama、” Resolution enhanced ADC using optical analog preprocessor consisted of nonlinear optical loop mirror”、In Proc. of the 3rd Global COE International Symposium --Electronic Devices Innovation - (EDIS2011) (招待講演)、Session D、2011年12月17日、豊中市.
- (5) 三木愛子、三好悠司、大橋正治、” 非線形光ループミラーを用いた光サンプリングに関する検討、” 平成23年電気関係学会関西連合大会、30A1-11、2011年10月29日、姫路市.
- (6) 三好悠司、並木周、北山研一、” 非線形光ループミラーを用いた超高速光A/D変換技術、” (Ultrafast optical A/D conversion using nonlinear optical loop mirror) 電子情報通信学会 2011年ソサエティ大会(招待講演)、BCI-1-3、2011年9月13日、札幌市.
- (7) 三好悠司、並木周、北山研一、” 非線形光ループミラー (NOLM) を用いた超高速光A/D変換技術、” 大阪府電磁波利用技術研究会平成23年度総会 記念講演(招待講演)、2011年5月20日、和泉市.
- (8) 三木愛子、三好悠司、大橋正治、” 非線形光ループミラーを用いた光サンプリングの光入出力特性に関する一検討、” 電子情報通信学会 関西支部学生会 第16回学生研究講演会、B3-4、2011年3月1日、堺市.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕
ホームページ
<http://www.eis.osakafu-u.ac.jp/~uopmu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三好 悠司 (MIYOSHI YUJI)
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00582389